Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 1, Spring. 2018, p. 229-241

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۲۴۱-۲۲۹

مطالعه تغذیه برگی کلات آهن به فرم‌های نانو و معمول بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در شرایط تنش خشکی

عباس نصیری دهسرخی[1*] - احمد قنبری[2] - ویدا ورناصری قندعلی[1]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۵

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر محلول پاشی کلات آهن به فرم‌های معمول و نانو بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز آزمایشی در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه‌ای واقع در شهر اصفهان به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. دور آبیاری به‌عنوان عامل اصلی شامل فواصل آبیاری پنج، ۱۰ و ۱۵ روز و محلول‌پاشی کلات آهن به‌عنوان عامل فرعی در پنج سطح شامل شاهد (محلول‌پاشی با آب)، ۲ گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول، ۲ گرم در لیتر نانو کلات آهن، ۴ گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول و ۴ گرم در لیتر نانو کلات آهن در نظر گرفته شد. بیشترین و کمترین تعداد چتر با مقادیر ۱۵/۶ و ۱۱/۴ در بوته به‌ترتیب از دور پنج و ۱۵ روز آبیاری به‌دست آمد. کمترین ارتفاع بوته به‌میزان ۲۱/۳ سانتی‌متر در تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) مشاهده گردید. کمترین وزن هزار دانه (۱/۵ گرم)، عملکرد دانه (۶۱۰/۷ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۱۷۶۷ کیلوگرم در هکتار) در شرایط عدم محلول‌پاشی و دور آبیاری ۱۵ روز مشاهده گردید. کاربرد ۲ گرم در لیتر نانو کلات آهن توانست به‌اندازه کاربرد ۴ گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول، عملکرد دانه زیره سبز را افزایش دهد. بر اساس نتایج پژوهش حاضر، می‌توان اظهار داشت در شرایط تنش خشکی، با محلول‌پاشی کلات آهن به‌خصوص به فرم نانو می‌توان تا حد زیادی اثرات سوء ناشی از تنش خشکی را تعدیل و عملکرد دانه گیاه را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: دور آبیاری، عملکرد بیولوژیک، گیاه دارویی، نانو ذرات

مقدمه

گیاهان دارویی، گیاهانی هستند که برخی از اندام‌های آنها حاوی مواد مؤثره و خواص دارویی است. این گیاهان، از لحاظ پیشگیری بیماری و درمان و هم در تأمین بهداشت و سلامتی جوامع اهمیت خاصی دارند (Fayyaz *et al.*, 2011). زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) از خانواده چتریان، یکی از محصولات مهم صادراتی است که با توجه به شرایط خاص اکولوژیکی مورد نیاز برای کشت آن، در مناطق محدودی از جهان تولید می‌شود. زیره سبز، یکی از مهمترین گیاهان دارویی اهلی در کشور شناخته شده است. در حال حاضر، این گیاه در استان‌های خراسان، آذربایجان شرقی، یزد، سمنان، اصفهان و بخش‌هایی از استان گلستان و کرمان کشت می‌گردد و سال به سال بر اهمیت و سطح زیر کشت آن افزوده می‌شود (Kafi *et al.*, 2002).

در کشور ایران اقلیم خشک و نیمه‌خشک اغلب مناطق را تحت تأثیر قرار داده و خصوصاً خشکسالی‌های اخیر بر مشکل کم‌آبی افزوده است (Laalinia *et al.*, 2012). به گزارش Farrokhinia *et al.* (2011) تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک سو و متأثر کردن فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوطه از سوی دیگر، موجب افت عملکرد دانه می‌شود. کاهش سرعت سوخت و ساز کربن، کاهش میزان هدایت روزنه‌ای و کاهش جذب آب در اثر کاهش رشد ریشه از عوامل دخیل در کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی شناخته شده‌اند (Gonzalez, 2005). ارائه راهکارهایی برای تعدیل اثرات تنش خشکی و افزایش عملکرد در این شرایط به‌عنوان هدفی مهم همواره مورد توجه محققین بوده است. محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی به‌عنوان یک راهکار توسط محققین بسیاری جهت افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی پیشنهاد گردیده است (Kazemi *et al.*, 2014).

۱- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
(*- نویسنده مسئول: Email: abasnasiri110@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v16i1.63206

Babaeian *et al.* (2008) گزارش کردند محلول‌پاشی عناصر کم مصرف مانند آهن و روی در شرایط تنش خشکی، عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus*) را با بهبود بازده فتوشیمیایی و غلظت سبزینه، افزایش می‌دهد. در پژوهشی با بررسی اثر آهن و روی بر خصوصیات عملکردی گندم (*Triticum aestivum*) در شرایط تنش خشکی دریافتند که عملکرد و وزن هزار دانه گندم به‌طور معنی‌داری در اثر استفاده از این دو عنصر افزایش می‌یابد (Monjezi *et al.*, 2013).

در سال‌های اخیر چگونگی تأثیر محلول‌پاشی عناصر مورد نیاز گیاه به فرم نانو ذرات بر رشد و عملکرد گیاهان مورد توجه قرار گرفته است و در این راستا گزارش‌هایی نیز ارائه شده است. محققان گزارش دادند محلول‌پاشی سولفات آهن به شکل نانو ذرات سبب افزایش وزن خشک گیاه آفتابگردان نسبت به محلول‌پاشی سولفات آهن به شکل معمول گردید (Torabian and Zahedi, 2013). مصرف یک کیلوگرم در هکتار کلات آهن به شکل نانو در مقایسه با شکل معمول آن به نسبت بیشتری وزن خشک اندام هوایی، ریشه و برگ و طول ریشه گیاه ریحان (*Ocimum Basilicum*) را افزایش داد (Peyvandi *et al.*, 2011). Mazaherinia *et al.* (2010) دریافتند که کاربرد پودر اکسید آهن نانو نسبت به اکسید آهن معمولی افزایش معنی‌داری در کل وزن خشک کاه و کلش گندم داشته است. با توجه به اینکه بخش زیادی از اراضی کشور از اقلیم خشک و نیمه خشک برخوردار هستند و تولید گیاهان زراعی و دارویی در این مناطق با کمبود آب روبه‌رو است، انجام تحقیقاتی که بتواند اثرات سوء ناشی از شرایط خشکی را کاهش دهد، ضروری به‌نظر می‌رسد. بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور بررسی محلول‌پاشی کلات آهن به فرم‌های معمول و نانو بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز در شرایط تنش خشکی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه‌ای واقع در شهر اصفهان به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. دور آبیاری به‌عنوان عامل اصلی شامل فواصل آبیاری پنج، ۱۰ و ۱۵ روز و محلول‌پاشی کلات آهن به‌عنوان عامل فرعی در پنج سطح شامل شاهد (محلول‌پاشی با آب)، دو گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول، دو گرم در لیتر نانو کلات آهن، چهار گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول و چهار گرم در لیتر نانو کلات آهن در نظر گرفته شد. کود مورد استفاده در این پژوهش از شرکت کود خضراء تهیه شده بود. هر کرت آزمایشی از چهار ردیف چهار متری تشکیل شده بود. فاصله بین ردیف کاشت، ۲۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف شش سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در طول دوره داشت، وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی و هفتگی انجام گردید. برای نمونه‌برداری دو ردیف کناری و نیم متر ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان حاشیه حذف شدند. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، به‌صورت تصادفی از هر کرت آزمایشی پنج بوته انتخاب و صفات ارتفاع، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چتر و وزن هزاردانه اندازه‌گیری شدند. همچنین به‌منظور تعیین عملکرد بیولوژیک و دانه مساحت ۰/۵ مترمربع از وسط هر کرت با حذف اثر حاشیه‌ای برداشت و مقدار آن برآورد گردید. آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار MSTATC نسخه ۴ و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون LSD، در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. ترسیم شکل‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج نشان داد تأثیر دور آبیاری و محلول‌پاشی آهن بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش فاصله آبیاری، ارتفاع بوته کاهش یافت. گرچه بین فواصل آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز اختلاف معنی‌داری از نظر ارتفاع بوته وجود نداشت، اما کمترین آن به فاصله آبیاری ۱۵ روز (۲۱/۶ سانتی‌متر) تعلق داشت (جدول ۲). Eskandari *et al.* (2010) نشان دادند با افزایش دور آبیاری، ارتفاع بوته کنجد (*Sesamum indicum*) کاهش یافت. در شرایط تنش تخصیص مواد کربوهیدراتی بین قسمت‌های مختلف گیاه تغییر می‌کند، لذا گیاه سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی را به ریشه اختصاص می‌دهد، در نتیجه مواد فتوسنتزی کمتری به بخش‌های هوایی از جمله ساقه رسیده که این امر ضمن توسعه بخش جاذب رطوبت و عناصر غذایی (ریشه‌ها)، سبب کاهش سهم شاخساره و ارتفاع بوته می‌گردد (Silva *et al.*, 2012).

ارتفاع بوته در پاسخ به محلول‌پاشی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت به‌طوری که کمترین ارتفاع بوته به‌میزان ۲۱/۳ سانتی‌متر در تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح محلول‌پاشی داشت (جدول ۲). گزارش‌های متعددی مبنی بر تأثیر مثبت کاربرد آهن در مقایسه با عدم کاربرد آن (شاهد) بر ارتفاع بوته گیاهان و به‌دنبال آن بهبود عملکرد گیاه وجود دارد. برای مثال در کلزا (*Brassica napus* L.) بهبود ارتفاع بوته با محلول‌پاشی آهن توسط Pourgholam *et al.* (2013) و همچنین در سویا (*Glycine max*) توسط Ghasemian *et al.* (2010) گزارش شده است.

جدول ۱- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز تحت تأثیر محلول‌پاشی کلات آهن و دور آبیاری

Table 1- Analyses of variance of yield and yield components of cumin affected by foliar application of chelate iron and irrigation period

		Mean of squares						
منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Height	تعداد چتر در بوته Number of umbels	تعداد چترک در چتر Number of umbellate	تعداد دانه در چتر Number of grain per umbel	وزن هزار دانه 1000-Grain weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Replication	2	13.06ns	6.2ns	0.15ns	3464.46*	2.36*	2167450.4*	28749.1**
دور آبیاری Irrigation period	2	213.2**	67.26**	0.82ns	3944.26*	4.82**	4031668.2**	160987**
خطای a Error (a)	4	3.13	1.26	0.45	372.53	0.14	124557.2	1582.2
محلول‌پاشی Foliar application	4	39.63**	19.3**	0.03ns	491.07**	0.71**	500293.4**	8258.9**
دور آبیاری×محلول‌پاشی Irrigation foliar ×period application	8	1.26ns	0.51ns	0.76ns	38.62ns	0.11**	47577.2*	786.7**
خطای b Error (b)	24	3.13	0.66	0.77	57.09	0.02	20169	234.1
ضریب تغییرات C.V (%)	-	7.3	5.9	9.6	8.5	4.8	5.0	2.0

*، ** و ns به‌ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال پنج، یک و عدم معنی‌داری.

*, ** and ns, significant at P ≤0.01 and P ≤0.05 and non-significant respectively.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد در بین سطوح محلول‌پاشی آهن، بالاترین ارتفاع بوته در تیمار چهار گرم در لیتر نانو کود کلات آهن مشاهده گردید که افزایش ۲۲ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد را به‌همراه داشت. در پژوهشی، محققان گزارش دادند کاربرد نانو کود آهن باعث افزایش ارتفاع ذرت (*Zea mays* L.) گردید (Mohammad Khani and Roozbahani, 2015). در آزمایش Pandey *et al.* (2010) مصرف نانوذرات آهن از طریق افزایش سطح ایندول استیک اسید در ریشه نخود (*Cicer arietinum* L.) موجب افزایش رشد طولی این گیاه گردید که این به دلیل سطح مخصوص نانو ذرات آهن و قابلیت جذب و تحرک بیشتر در گیاه است. همچنین تحقیقات نشان داده که نانو ذرات سولفات آهن به دلیل حلالیت بیشتر در آب و دارا بودن سطح مخصوص کوچکتر نسبت به سولفات آهن معمولی، بر سطح گیاه رسوب نکرده و با جذب بیشتر در گیاه و فعال کردن هورمون‌ها باعث افزایش ارتفاع آفتابگردان شدند (Torabian and Zahedi, 2013). نانوذرات می‌توانند به مولکول‌های فعال بیولوژیکی مختلف متصل شوند که این اتصال می‌تواند به‌طور مستقیم به مکان‌های خاص درون بیومولکول‌ها شامل پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک و ساختارهای زیرسلولی صورت بگیرد و بدین طریق نانوذرات از غشاءهای سلولی عبور می‌کنند (Krystofova *et al.*, 2013). نتایج نشان داد کاربرد دو گرم در لیتر نانو کلات آهن توانست به اندازه چهار گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول، ارتفاع بوته را نسبت به شاهد افزایش دهد و از نظر صفت مذکور در یک گروه آماری قرار گرفتند. چنین به‌نظر می‌رسد که به‌علت کارآیی بالاتر نانوکود کلات، با نصف مقدار کوددهی کود کلات معمولی، در این صفت مؤثر بوده که دلیل احتمالی این امر را می‌توان به اندازه ذرات نانو و امکان نفوذ بیشتر و مؤثرتر این ذرات در مقایسه با شکل معمول این عنصر نسبت داد.

تعداد چتر در بوته

نتایج نشان داد دور آبیاری به‌طور بسیار معنی‌داری تعداد چتر در بوته زیره سبز را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). با افزایش شدت تنش از تعداد چتر در بوته کاسته شد به‌طوری که بیشترین و کمترین تعداد چتر با مقادیر ۱۵/۶ و ۱۱/۴ در بوته به‌ترتیب از دور پنج و ۱۵ روز آبیاری به‌دست آمد (جدول ۲). در پژوهشی، محققان بیان کردند که در شرایط تنش خشکی تعداد چتر در بوته زیره کاهش می‌یابد (Kafi and Keshmiri, 2011). با اعمال تنش خشکی روی اسفرزه

(*Plantago psyllium*) تعداد سنبله در بوته کاهش یافت (Ramroudi *et al.*, 2011). کاهش آب مورد نیاز گیاه اگر در مرحله زایشی باشد، به‌دلیل اختلال در عمل گرده‌افشانی و کوتاه شدن زمان آن موجب کاهش تعداد سنبله و دانه می‌شود (Patra *et al.*, 1999).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، تأثیر محلول‌پاشی بر تعداد چتر در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. محلول‌پاشی عنصر آهن به هر دو فرم نانو و معمول، باعث افزایش معنی‌دار تعداد چتر در بوته نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی) گردید. در بین سطوح محلول‌پاشی، بیشترین تعداد چتر در بوته مربوط به کاربرد چهار گرم در لیتر نانو کلات آهن و چهار گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول بود که به‌ترتیب افزایش ۲۵ و ۲۱ درصدی تعداد چتر در بوته نسبت به شاهد را نشان دادند (جدول ۲). عنصر آهن از طریق تحریک پنجه‌زنی مطلوب و تشکیل آغازه‌های برگ، باعث افزایش تعداد سنبله در غلات می‌شود (Ebrahimi and Hassanpour, 2002).

نتایج نشان داد کاربرد دو گرم در لیتر نانو کلات آهن توانست به‌اندازه چهار گرم در لیتر کلات آهن معمول، تعداد چتر در بوته تولید کند و از نظر صفت مذکور در یک گروه آماری قرار گرفتند. این در حالی بود که کاربرد دو گرم در لیتر نانو کلات آهن باعث افزایش معنی‌دار تعداد چتر در بوته به میزان ۸ درصد نسبت به تیمار دو گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول گردید. در پژوهشی نتایج نشان داد محلول‌پاشی نانو کود آهن باعث افزایش معنی‌دار تعداد فندقه[1] در بوته کاسنی (*Cichorium inyubus* L.) نسبت به شاهد (محلول‌پاشی با آب) گردید (Sepehri and Vaziriamjad, 2015). Hamzei *et al*, (2014) گزارش دادند محلول‌پاشی نانو کلات آهن در مرحله گلدهی به‌دلیل افزایش ماندگاری گل و تبدیل آن به غلاف و نیز از طریق افزایش آسیملات‌ها، به‌واسطه نقشی که این عنصر در فتوسنتز دارد، موجب افزایش تعداد غلاف در بوته می‌گردد. به‌نظر می‌رسد جذب بهتر و بیشتر عناصر غذایی در تیمارهای نانو، سبب افزایش میزان فتوسنتز و ماده خشک گیاهی می‌شود که این مسئله در نهایت به افزایش گلدهی و تعداد چتر در بوته می‌انجامد.

تعداد دانه در چتر

مطابق با نتایج تجزیه واریانس، عامل دور آبیاری تعداد دانه در چتر را در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). افزایش فواصل آبیاری سبب کاهش تعداد دانه در چتر گردید که این امر می‌تواند به‌دلیل کاهش فتوسنتز، کاهش رشد و سایر عوامل بازدارنده در اثر ایجاد تنش ناشی از افزایش فواصل آبیاری باشد. نتایج نشان داد دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز باعث کاهش تعداد دانه در چتر به‌ترتیب به‌میزان ۱۹ و ۳۱ درصد نسبت به شاهد (دور آبیاری پنج روز) گردید (جدول ۲). Ahmadian (2004) گزارش داد با افزایش شدت تنش خشکی تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در بوته زیره سبز کاهش می‌یابد. Shabanzadeh *et al.* (2012) نیز گزارش دادند با افزایش فاصله آبیاری، تعداد دانه در بوته گیاه سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کاهش تعداد دانه در اثر تنش خشکی می‌تواند به علت کاهش آسیملات‌ها به‌واسطه کاهش سطح برگ گیاه و فتوسنتز در مرحله پر شدن دانه باشد (Tavakkoli Zeinali, 2002). بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر محلول‌پاشی در سطح یک درصد بر تعداد دانه در چتر معنی‌دار بود. همان‌طور که در جدول ۲ مشهود است گرچه اختلاف معنی‌داری بین فرم معمول و نانوکلات آهن در صفت تعداد دانه در چتر وجود ندارد اما کلیه سطوح محلول‌پاشی آهن نسبت به عدم محلول‌پاشی (شاهد) افزایش معنی‌دار صفت مذکور را به‌همراه داشت. در راستای نتایج پژوهش حاضر، افزایش تعداد دانه در اثر محلول‌پاشی آهن در گیاهان کنجد (Ahmadi *et al.*, 2013) و سیاه دانه (Shabanzadeh *et al.*, 2012) نیز گزارش شده است. در تحقیقی اظهار شد که با مصرف نانو کود کلات در مرحله گلدهی، درصد پوکی دانه‌ها کاهش و تعداد دانه در بوته برنج (*Oryza sativa*) افزایش یافت (Baghaei *et al.*, 2012). همچنین نتایج پژوهشی نشان داد کاربرد نانو کود آهن سبب افزایش تعداد دانه در ردیف ذرت گردید (Mohammad Khani and Roozbahani, 2015).

وزن هزار دانه

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثر سطوح دور آبیاری و محلول‌پاشی و برهمکنش آنها در سطح یک درصد بر وزن هزار دانه زیره سبز معنی‌دار بود (جدول ۱). بررسی برهمکنش تنش در محلول‌پاشی نشان داد، محلول‌پاشی با نانوکلات آهن و کلات آهن معمولی در شرایط تنش و عدم تنش خشکی باعث افزایش وزن هزار دانه زیره سبز گردید. بیشترین وزن هزار دانه گیاه با کاربرد چهار گرم در لیتر نانوکلات و در شرایط عدم تنش مشاهده گردید که البته همانطور که در شکل ۱ مشهود است با چهار گرم در لیتر فرم معمول کلات آهن در یک گروه آماری قرار گرفتند. این در حالی بود که کمترین وزن هزار دانه گیاه به‌میزان ۱/۵ گرم در شرایط عدم محلول‌پاشی و دور آبیاری ۱۵ روز مشاهده گردید. گیاه برای فرار از خشکی مجبور است رشد خود را سریع‌تر به پایان رسانده در نتیجه طول دوره پر شدن دانه کاهش یافته و وزن دانه کم می‌شود. Bybordy and Mamedov (2010) اظهار داشتند که محلول‌پاشی آهن در دو مرحله ساقه رفتن و قبل از گلدهی در کلزا، سبب افزایش وزن هزار دانه گردید. در پژوهش دیگری نتایج نشان داد محلول‌پاشی عنصر آهن باعث افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه کلزا گردید

1- Aken

به‌طوری‌که با افزایش غلظت آهن از صفر تا چهار گرم در لیتر، وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری از ۴/۲۴ به ۴/۶۴ گرم افزایش یافت (Hedayatpour *et al.*, 2014). Monjezi *et al.* (2013) با بررسی اثر آهن و روی بر خصوصیات عملکردی گندم در شرایط تنش خشکی دریافتند که عملکرد و وزن هزار دانه گندم به‌طور معنی‌داری در اثر استفاده از این دو عنصر افزایش می‌یابد.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات محلول‌پاشی کلات آهن و دور آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز

Table 2- Effects of foliar application and irrigation period on yield and yield components of cumin

تیمارها Treatments	ارتفاع بوته Height (cm)	تعداد چتر Number of umbels	تعداد دانه در چتر Number of grain per umbel	وزن هزار دانه 1000-Grain weight (g)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})
دور آبیاری Irrigation period (days)						
5	28.4	15.6	106.1	3.43	3352.8	879.7
10	22.3	14.3	86.2	2.98	2881.8	759
15	21.6	11.4	74	2.3	2317.3	673.5
LSD (0.05)	1.33	0.61	5.69	0.106	107	11.53
محلول‌پاشی Foliar application						
Fe0	21.3	11.5	75.7	2.48	2512.3	733.4
Fe1	23.1	13.2	93.6	2.81	2748.5	750.6
Fe2	24.4	14.3	90.8	2.94	2897.7	774
Fe3	24.7	14.5	90.7	3.04	2952.7	783.8
Fe4	27	15.3	92.8	3.24	3141.8	811.8
LSD (0.05)	1.72	0.79	7.35	0.137	138.2	14.89

Fe0: شاهد (محلول‌پاشی با آب)، Fe1: ۲ گرم در لیتر کلات آهن، Fe2: ۲ گرم در لیتر نانو کلات آهن، Fe3: ۴ گرم در لیتر کلات آهن و Fe4: ۴ گرم در لیتر نانو کلات آهن

Fe0: control, Fe1: 2 g L^{-1} chelate iron, Fe2: 2 g L^{-1} nano chelate iron, Fe3: 4 g L^{-1} chelate iron and Fe4: 4 g L^{-1} nano chelate iron

وجود آهن منجر به افزایش محتوای کلروفیل برگ گشته و با تأثیر بر میزان فتوسنتز و تثبیت دی اکسید کربن و تولید نشاسته و قند و ذخیره‌سازی آن در دانه، موجب افزایش وزن هزار دانه می‌گردد (Sharma and Sanwal, 1992).

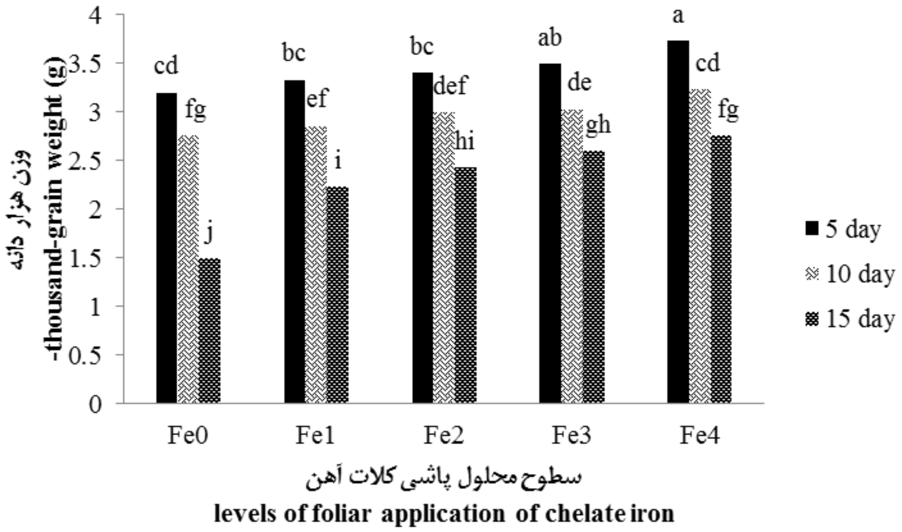
همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد در شرایط تنش و عدم تنش، کاربرد نانوکلات آهن در مقایسه با فرم معمول این عنصر، به نسبت بیشتری وزن هزار دانه زیره سبز را افزایش داد. در همین راستا، نتایج پژوهشی نشان داد که نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم ۰/۰۲ درصد در شرایط تنش خشکی ۲۸/۳۲ درصد نسبت به عدم محلول‌پاشی در همین شرایط وزن سنبله گندم را افزایش داد (Jaberzadeh *et al.*, 2010). در پژوهش دیگری محققین گزارش دادند کاربرد نانو کود آهن سبب افزایش وزن هزار دانه ذرت گردید (Mohammad Khani and Roozbahani, 2015). Mazaherinia *et al.* (2010) دریافتند کاربرد پودر اکسید آهن نانو نسبت به اکسید آهن معمولی افزایش معنی‌داری در وزن دانه در سنبله گندم را به‌همراه داشت. با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر و گزارش سایر محققین، به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی عنصر آهن به‌ویژه فرم نانو کلات در شرایط کم‌آبی می‌تواند تجمع کربوهیدرات و فرآیندهای فتوسنتزی را افزایش دهد و متعاقباً اثرات سوء ناشی از خشکی را تعدیل نماید.

عملکرد بیولوژیک

مطابق با نتایج تجزیه واریانس، تأثیر دور آبیاری و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش آنها در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۱). مقایسه میانگین‌های برهمکنش دور آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک از دور آبیاری پنج روز و محلول‌پاشی چهار گرم در لیتر نانوکلات آهن مشاهده گردید که افزایش ۱۴ درصدی نسبت به شاهد را نشان داد (شکل ۲). Zehtab-Salmasi *et al.* (2008) نشان دادند که محلول‌پاشی با عناصر کم مصرف آهن و روی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد خشک گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperment* L.) نسبت به تیمار شاهد گردید. کمترین عملکرد بیولوژیک گیاه به میزان ۱۷۶۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به عدم محلول‌پاشی و دور آبیاری ۱۵ روز بود. در همین راستا، محققان دیگری نیز نشان دادند که با افزایش فواصل آبیاری عملکرد بیولوژیک در کنجد کاهش یافت (Rezvani Moghaddam *et al.*, 2005; Eskandari *et al.*, 2010). کاهش وزن اندام هوایی و تولید فرآورده‌های فتوسنتزی در نتیجه محدودیت آب توسط Basole *et al.* (2003) نیز گزارش شده است.

متناسب با افزایش هر دو نوع کلات آهن (نانو و معمول)، عملکرد بیولوژیک گیاه افزایش یافت که این افزایش در تیمارهای

نانو آهن نسبت به تیمارهای آهن معمولی بیشتر بود که علت این امر را می‌توان به حلالیت بیشتر و قابلیت فراهمی بیشتر نانو کلات آهن در مقایسه با فرم معمول آن نسبت داد.



شکل ۱- برهمکنش دور آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن بر وزن هزار دانه زیره سبز

Figure 1- Interaction effects of irrigation period and foliar application of chelate iron on 1000-grain weight of cumin

Fe0: شاهد (محلول‌پاشی با آب)، Fe1: ۲ گرم در لیتر کلات آهن، Fe2: ۲ گرم در لیتر نانو کلات آهن، Fe3: ۴ گرم در لیتر کلات آهن و Fe4: ۴ گرم در لیتر نانو کلات آهن

Fe0: control, Fe1: 2 g L^{-1} chelate iron, Fe2: 2 g L^{-1} nano chelate iron, Fe3: 4 g L^{-1} chelate iron and Fe4: 4 g L^{-1} nano chelate iron

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

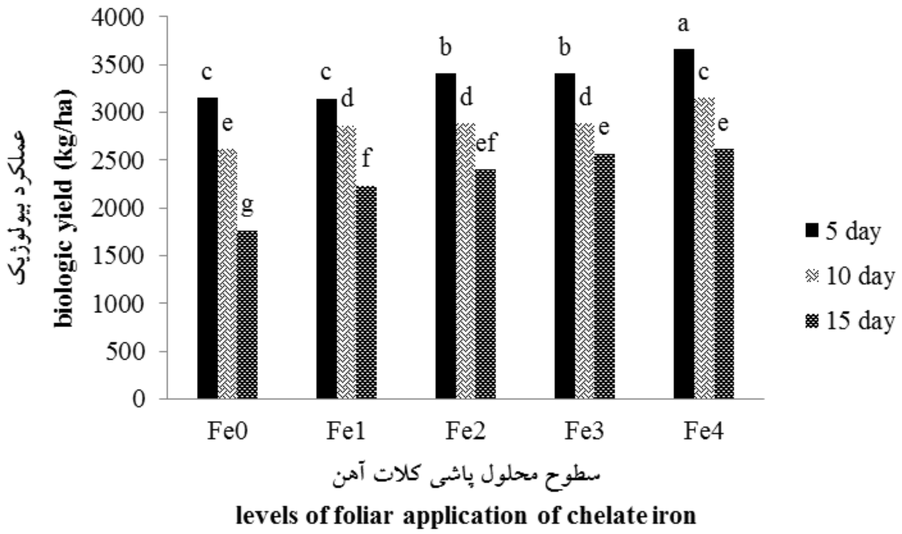
Means with similar letters are not significantly different at the 5 % probability level (LSD test).

نتایج نشان داد در شرایط عدم تنش (دور آبیاری پنج روز)، محلول‌پاشی دو گرم نانو کلات آهن ضمن افزایش معنی‌دار ۷/۶ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به دو گرم کلات آهن معمول، از نظر صفت مذکور با تیمار چهار گرم کلات آهن معمول در یک گروه قرار گرفت. Mohammad Khani and Roozbahani (2015) در نتیجه پژوهش خود، اظهار داشتند کاربرد نانو کود آهن باعث افزایش عملکرد بیولوژیک در ذرت گردید. Sepehri and Vaziriamjad (2015) نیز گزارش دادند محلول‌پاشی نانو کود آهن سبب افزایش عملکرد بیولوژیک در گیاه کاسنی گردید. گزارش شده است که محلول‌پاشی نانو کلات آهن در مرحله گلدهی نخود از طریق افزایش رشد، تعداد شاخه در بوته و همچنین تعداد دانه در بوته، موجبات تشکیل ماده خشک بیشتری را فراهم آورد (Hamzei *et al.*, 2014). هم راستا با نتایج پژوهش حاضر، گزارش‌های متعددی وجود دارد که کاربرد نانوکودها در مقایسه با فرم معمول آنها، تأثیر بیشتری در تجمع ماده خشک در گیاه به‌همراه خواهد داشت. به‌عنوان مثال، Torabian and Zahedi (2013) گزارش دادند محلول‌پاشی سولفات آهن به‌شکل نانو ذرات سبب افزایش وزن خشک گیاه نسبت به محلول‌پاشی سولفات آهن به‌شکل معمول گردید. مصرف یک کیلوگرم در هکتار کلات آهن به شکل نانو در مقایسه با شکل معمول آن به نسبت بیشتری وزن خشک اندام هوایی، ریشه و برگ و طول ریشه گیاه ریحان را افزایش داد (Peyvandi *et al.*, 2011). Mazaherinia *et al.* (2010) دریافتند که کاربرد پودر اکسید آهن نانو نسبت به اکسید آهن معمولی افزایش معنی‌داری در کل وزن خشک کاه و کلش گندم داشته است. به‌نظر می‌رسد اندازه بزرگتر کلات آهن معمول نسبت به فرم نانو، منجر به جذب کمتر این عنصر توسط گیاه و رسوب بیشتر آن بر روی برگ می‌گردد. از سوی دیگر رسوب این مواد بر روی برگ می‌تواند سوختگی برگ، کاهش فتوسنتز و در نهایت کاهش عملکرد گیاه را به‌همراه داشته باشد.

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمارهای دور آبیاری، محلول‌پاشی و همچنین برهمکنش آنها در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). بررسی اثر متقابل دور آبیاری در محلول‌پاشی نشان داد اعمال دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گیاه نسبت به شاهد گردید که این کاهش عملکرد در دور آبیاری ۱۵ روز بیشتر از ۱۰ روز بود. اما

محلول‌پاشی با نانو کلات آهن و کلات آهن معمول توانست این کاهش عملکرد را جبران و در این میان محلول‌پاشی با چهار گرم نانو کلات آهن نسبت به سایر سطوح محلول‌پاشی تأثیر بیشتری در تعدیل تنش خشکی و افزایش عملکرد نشان داد (شکل ۳).



شکل ۲- برهمکنش دور آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن بر عملکرد بیولوژیک زیره سبز

Figure 2- Interaction effects of irrigation period and foliar application of chelate iron on biological yield of cumin

Fe0: شاهد (محلول‌پاشی با آب)، Fe1: ۲ گرم در لیتر کلات آهن، Fe2: ۲ گرم در لیتر نانو کلات آهن، Fe3: ۴ گرم در لیتر کلات آهن و Fe4: ۴ گرم در لیتر نانو کلات آهن

Fe0: control, Fe1: 2 g L^{-1} chelate iron, Fe2: 2 g L^{-1} nano chelate iron, Fe3: 4 g L^{-1} chelate iron and Fe4: 4 g L^{-1} nano chelate iron

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

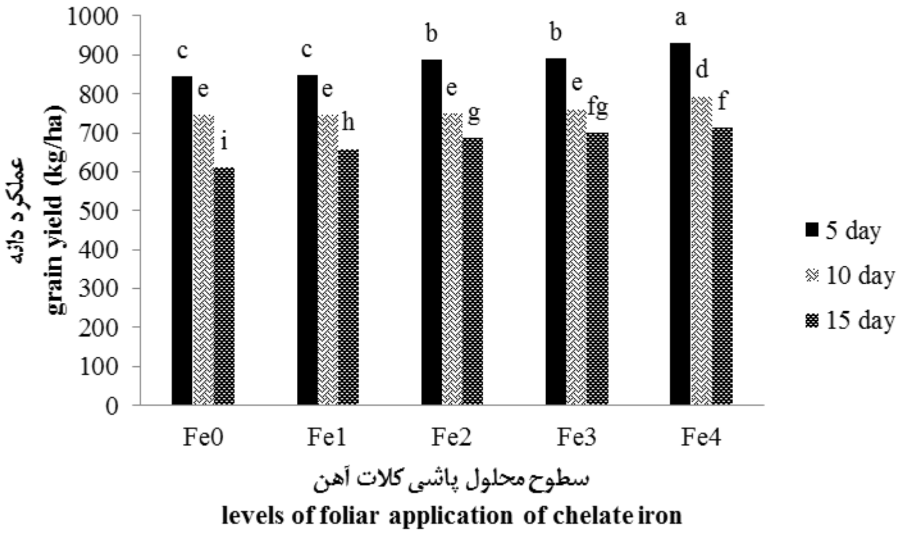
Means with similar letters are not significantly different at the 5 % probability level (LSD test).

نتایج نشان داد محلول‌پاشی آهن در دور آبیاری ۱۵ روز نسبت به محلول‌پاشی در دور آبیاری ۱۰ روز به‌طور مؤثرتری عملکرد دانه گیاه را افزایش داد به‌طوری‌که در دور آبیاری ۱۵ روز، کلیه سطوح محلول‌پاشی کلات آهن، اختلاف معنی‌داری را با عدم محلول‌پاشی (شاهد) نشان دادند. محلول‌پاشی با چهار گرم نانو کلات آهن در شرایط دور آبیاری پنج، ۱۰ و ۱۵ روز باعث افزایش عملکرد دانه گیاه به‌ترتیب به‌میزان ۹/۲، ۶/۲ و ۱۴/۳ درصد نسبت به شاهد گردید. با توجه به نقش ساختاری عناصر ریزمغذی از جمله آهن، منگنز و روی در برخی آنزیم‌ها و همچنین نقش مؤثر آنها در سنتز پروتئین‌ها، با مصرف این عناصر علاوه بر افزایش عملکرد افزایش مقاومت گیاهان تحت تنش‌های محیطی مورد انتظار است (Cakmak, 2000).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد کمترین عملکرد دانه گیاه (۶۱۰/۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به عدم محلول‌پاشی و در شرایط دور آبیاری ۱۵ روز بود (شکل ۳). به گزارش Farrokhinia *et al.* (2011) تنش خشکی در گیاه با کاهش آب برگ و در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک سو و متأثر کردن فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوطه از سوی دیگر، موجب افت عملکرد دانه می‌شود. کاهش سرعت سوخت و ساز کربن، کاهش میزان هدایت روزنه‌ای و کاهش جذب آب در اثر کاهش رشد ریشه از عوامل دخیل در کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی شناخته شده‌اند (Gonzalez, 2005). Jaberzadeh *et al.* (2010) گزارش دادند عملکرد دانه گندم در شرایط تنش خشکی با محلول‌پاشی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم ۰/۰۲ درصد، ۲۳ ٪ نسبت به عدم محلول‌پاشی در شرایط تنش خشکی افزایش نشان داد. بررسی‌های Baghai *et al*, (2012) روی زیره سبز نشان داد در شرایط محدودیت آبیاری، می‌توان با کاربرد شش کیلوگرم نانو کود آهن در هکتار، کاهش عملکرد ناشی از افزایش دور آبیاری را جبران نمود.

همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد کاربرد دو گرم در لیتر نانو کلات آهن توانست به اندازه کاربرد چهار گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول، عملکرد دانه زیره سبز را افزایش دهد و از نظر معنی‌داری در یک گروه آماری قرار گرفتند. بهبود عملکرد توسط نانو کلات نسبت به کلات معمولی می‌تواند ناشی از کارایی کلات با ساختار نانو در رسانش و فراهمی بهینه عنصر آهن در فرآیندهای فیزیولوژیکی باشد (Baghai and Maleki Farahani, 2014). Mohammad Khani and Roozbahani (2015) نیز اظهار داشتند کاربرد نانو کود آهن باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت گردید. از آنجا که آهن یکی از عناصر کم مصرف بسیار مهم برای گیاهان به حساب می‌آید و کمبود آن منجر به بروز زردی برگ، تغییر غلظت و محتوی آهن و

سایر عناصر فلزی در بافت‌های گیاهی می‌شود لذا این صفات ارتباط نزدیکی با عملکرد گیاهان زراعی دارند و چنین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش جذب آهن در تیمار نانو کلات منجر به افزایش صفات مربوط به عملکرد در این تیمار شده است (Baghai and Maleki Farahani, 2014). در مجموع نتایج پژوهش حاضر نشان داد محلول‌پاشی کلات آهن به فرم نانو در شرایط تنش و عدم تنش در مقایسه با فرمول معمول، به‌طور مؤثرتری عملکرد دانه زیره سبز را افزایش داد. علت احتمالی این نتیجه را می‌توان به اندازه کوچک‌تر نانو کلات در مقایسه با کلات معمولی و همچنین حلالیت و تحرک‌پذیری بیشتر آنها نسبت داد که این امر جذب آهن توسط گیاه را تسهیل می‌کند که در چنین شرایطی افزایش رشد و عملکرد گیاه به دور از انتظار نیست.



شکل ۳- برهمکنش دور آبیاری و محلول‌پاشی کلات آهن بر عملکرد دانه زیره سبز

Figure 3- Interaction effects of irrigation period and foliar application of chelate iron on grain yield of cumin

Fe0: شاهد (محلول‌پاشی با آب)، Fe1: ۲ گرم در لیتر کلات آهن، Fe2: ۲ گرم در لیتر نانو کلات آهن، Fe3: ۴ گرم در لیتر کلات آهن و Fe4: ۴ گرم در لیتر نانو کلات آهن

Fe0: control, Fe1: 2 g L^{-1} chelate iron, Fe2: 2 g L^{-1} nano chelate iron, Fe3: 4 g L^{-1} chelate iron and Fe4: 4 g L^{-1} nano chelate iron

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند.

Means with similar letters are not significantly different at the 5 % probability level (LSD test).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد با افزایش فاصله آبیاری، عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که بالاترین کاهش در صفات مورد مطالعه مربوط به آبیاری پس از ۱۵ روز بود. این در حالی بود که محلول‌پاشی کلات آهن به فرم‌های نانو و معمول با تعدیل اثرات سوء ناشی از تنش، توانست رشد و عملکرد گیاه را به‌همراه داشته باشد. محلول‌پاشی نانو کلات آهن در مقایسه با کلات آهن به فرم معمول تأثیر بیشتری در افزایش صفات مورد بررسی به‌همراه داشت به‌طوری‌که بهترین نتایج با محلول‌پاشی چهار گرم در لیتر نانوکلات آهن به‌دست آمد. در بیشتر موارد، محلول‌پاشی دو گرم در لیتر نانو کلات آهن توانست به اندازه چهار گرم در لیتر کلات آهن به فرم معمول صفات مورد بررسی را افزایش دهد. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از کودهای آهن ساخته شده با تکنولوژی نانو در مقایسه با کودهای کلاته رایج در بخش کشاورزی با مقادیر کم‌تر می‌تواند افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه را در شرایط تنش و عدم تنش به‌همراه داشته باشد. همچنین استفاده از کودهای ساخته شده با فناوری نانو، ضمن افزایش کارایی فتوسنتزی و عملکرد گیاه، می‌تواند آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی را کاهش دهد و گامی مؤثر در جهت کشاورزی پایدار تلقی گردد.

References

1. Abd El-Kader, A. A., Shaaban, S. M., and Abd El-Fattah, M. S. 2010. Effect of irrigation levels and organic compost on okra plants (*Abelmoschus esculentus* L.) grown in sandy calcareous soil. Agriculture Biology Journal

North America 1: 225-231.
2. Ahmadi, J., Seyfi, M. M., and Amini, M. 2013. Effect of spraying micronutrients Fe, Zn and Ca on grain and oil yield of sesame (*Sesamus indicum* L.) varieties. Electronic Journal of Crop Production 5 (3): 115-130. (in Persian with English abstract).
3. Ahmadian, A. 2004. Effect of irrigation frequency and manure on yield and quality of cumin. MSc Thesis, College of Agriculture, University of Zabol. (in Persian).
4. Aminpoor, R., and Musavi, S. F. 1995. The effect of irrigation times on developmental stages, yield and its components of cumin. Agriculture Science Natural Resource Journal 1: 1-7. (in Persian).
5. Babaeian, M., Heidari, M., and Ghanbari, A. 2008. Effects of foliar micronutrient application on osmotic adjustments, grain yield and yield components in sunflower (*Alster cultivar*) under water stress at three stages. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 40 (12): 119-129. (in Persian).
6. Baghaei, N., Keshavarz, N., Shukrivahed, H., and Nazaran, M. H. 2012. Effect of nano-iron chelate on yield and yield components of rice. 12th Iranian Crop Sciences Congress, September 4-6. Islamic Azad University, Karaj, Iran. Pp: 1-5. (in Persian with English abstract).
7. Baghai, N., Keshavarz, N., AminiDehaghai, M., and Nazaran, M. H. 2012. Effect of Nano iron chelate fertilizer on yield and yield components of Cumin (*Cuminum cyminum*) under different irrigation intervals. National congress on Medicinal plants. Kish Island. Iran. (in Persian).
8. Baghai, N., and Maleki Farahani, S. 2014. Comparison of Nano and micro Chelated iron fertilizers on quantitative yield and assimilates allocation of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Saffron Research 1 (2): 156-169. (in Persian with English abstract).
9. Basole, V. D., Deotale, R. D., Ilmulwar, S. R., Raut, S. S., and Kadwe, S. B. 2003. Effect of hormone and nutrients on morpho-physiological characters and yield of soybean. Journal Soils and Crops 13: 135-139.
10. Bybordy, A., and Mamedov, G. 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae 2 (1): 94-103.
11. Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytologist 146: 185-205.
12. Davar Zareii, F., Roozbahani, A., and Hosnamidi, A. 2014. Evaluation the effect of water stress and foliar application of Fe nanoparticles on yield, yield components and oil percentage of safflower (*Carthamus tinctorious* L.). International journal of Advanced Biological and Biomedical Research 2 (4): 1150-1159.
13. Dumée, L. F., Lemoine, J. B., Ancel, A., Hameed, N., He, L., and Kong, L. 2015. Control of partial coalescence of self-assembled metal nano-particles across lyotropic liquid crystals templates towards long range meso-porous metal frameworks design. Nanomaterials 5: 1766-1781.
14. Ebrahimi, M., and Hassanpour, A. 2002. Compare among early and late varieties of corn using iron and zinc spraying and different planting dates in Fars. Seven[th] Congress of Agriculture. (in Persian).
15. Eskandari, H., Zehtab Salmasi, S., and Ghasemi-Golozani, K. 2010. Evaluation of water use efficiency and grain yield of sesame cultivars as a second crop under different irrigation regimes. Journal of Sustainable Agriculture Science 2/20 (1): 39–51. (in Persian).
16. Farrokhinia, M., Roshdi, M., PasebanEslam, B., and Sasandoust, R. 2011. Evaluation of some physiological characteristics on yield of spring safflower under water stress. Iranian Journal of Crop Sciences 42 (3): 545-553. (in Persian).
17. Fayyaz, M., Zare, S., and Ashori, P. 2011. Identification and distribution of pharmaceutical and industrial crops of Chaharmahal-va-Bakhtiari province, Institute of Forests and Rangelands Research. (in Persian).
18. Ghasemian, V., Ghalavand, A., Soroosh zadeh, A., and Pirzad, A. 2010. The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. Journal Phytology 2 (11): 73-79.
19. Gonzalez, A. M. 2005. Physiological responses of tagasaste to a progressive drought in its native environment on the Canary Islands. Environmental and Experimental Botany 53: 195-204.
20. Hamzei, J., Najjari, S., Sadeghi, F., and Seyedi, M. 2014. Effect of foliar application of nano-iron chelate and inoculation with mesorhizobium bacteria on root nodulation, growth and yield of chickpea under rainfed conditions. Iranian Journal of Pulses Research 5 (2): 9-18. (in Persian).
21. Hedayatpour, R., Movahhedi Dehnavi, M., Khademhamzeh, H., and Morshedi, M. 2014. Effect of foliar application of zinc and iron on yield quantity and quality of canola (*Brassica napus* cv. Talaye) in Zarghan region, Fars. Journal of oil Plants Production 1 (1): 33-42. (in Persian).
22. Hong, F., Zhou, J., and Liu, C. 2005. Effect of nano-TiO2 on photochemical reaction of chloroplasts of spinach. Biological Trace Element Research 105: 269-79.
23. Jaberzadeh, A., Moaveni, P., Tohidi Moghadam, H. R., and Moradi, A. 2010. Effect of TiO_2 nanoparticles spraying on agronomic characteristics of wheat under condition drought stress. Journal of Crop Eco physiology 2 (4): 295-301. (in Persian).

24. Joseph, T., and Morrisson, M. 2006. Nanoforum: Nanotechnology in agriculture and food. European Nanotechnology Gateway.
25. Kafi, M. 2002. Cumin (*Cuminum cyminum*) production and Processing. Ferdowsi University of Mashhad press. pp: 195.
26. Kafi, M., RashedMohassel, M., Kouchaki, A. R., Mollafilabi, A. 2002. Cumin: Production and Processing Technology. Ferdowsi University of Mashhad Press. pp 78-73. (in Persian).
27. Kafi, M., and Keshmiri, A. 2011. Study of yield in landraces and cultivars of Hindi cumin (*Cuminum cyminum*) in dry and saline conditions. Journal of Horticultural Science 25 (3): 327-334. (in Persian).
28. Kazemi, E., Baradaran, R., Seghat eslami, M. J., and Ghasemi, A. 2014. Effect of Zn and Fe foliar application on grain sorghum under drought stress. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 102: 190-196. (in Persian).
29. Krystofova, O., Sochor, J., Zitka, O., Babula, P., Kudrle, V., Adam, V., and Kizek, R. 2013. Effect of Magnetic Nanoparticles on Tobacco BY-2 Cell Suspension Culture. International Journal of Environmental Research and Public Health 10: 47-71.
30. Laalinia, A. A., Majnoon Hosseini. N., and Galostian, M. 2012. Effect of water stress on yield and yield components of mung bean at different grows (*Vigna radiate* L.). Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 95: 108-115. (in Persian with English abstract).
31. Liscano, J. F., Wilson, C. E., Norman, R. J., and Slaton, N. A. 2000. Zinc availability to rice from seven granular fertilizers. AAES Research Bulletin 963: 1-31.
32. Liu, X. M., Zhang, F. D., Zhang, S. Q., He, X. S., Fang, R., Feng, Z., and Wang, Y. 2005. Effects of nano-ferric oxide on the growth and nutrients absorption of peanut. Plant Nutr Fert Science 11: 14-18.
33. Mazaherinia, S., Astaraei, A. R., Fotovat, A., and Monshi, A., 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe , Mn , Zn and Cu concentrations in wheat plant. World Appl Science Journal 7 (1): 36-40.
34. Mohammad Khani, E., and Roozbahani, A. 2015. Application of vermicompost and nano iron fertilizer on yield improvement of grain corn (*Zea mays* L.). Journal of Plant Eco-physiology 23: 123-131. (in Persian).
35. Monjezi, F., Vazin, F., and Hassanzadehdelouei, M. 2013. Effects of iron and zinc spray on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum*) in drought stress. Cercetări Agronomice in Moldova, XLVI (1): 23-32.
36. Pandey, A. C., Sanjay, S. S., and Yadav, R. S. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum* L. Journal of Experimental Nanoscience 5 (6): 488-497.
37. Patra, D. D., Anwar, M., Singh, S., Prasad, A., and Singh, D. V. 1999. Aromatic and medicinal plants for salt and moisture stress condition. Recent advances in management of arid ecosystem. Proceeding of Symposium Held in Indiam, March, pp. 347-350.
38. Peyvandi, M., Parande, H., and Mirza, M. 2011. Comparison of nano Fe chelate with Fe chelate effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of *Ocimum Basilicum*. New Cell Mol Biotechnology 4: 89-99. (in Persian).
39. Pourgholam, M., Nemati, N., and Oveysi, M. 2013. Effect of zinc and iron under the influence of drought on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.). Annals of Biological Research 4 (4): 186-189.
40. Ramroudi, M., KeikhZhaleh, M., Galavi, M., SeghaEslami, M., Baradaran, R. 2011. Effect of foliar application of micro-nutrients and irrigation regimes on yield and quality psyllium. Journal of Agricultural Ecology 3: 219-226. (in Persian).
41. Rezvani Moghaddam, P., Norozpoor, Gh., Nabati, J., and Mohammad Abadi, A. A. 2005. Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yields of sesame (*Sesamum indicum*). Iranian Journal of Field Crops Research 3 (1): 57-68. (in Persian).
42. Sepehri, A., and Vaziriamjad, A. 2015. The Effect of Iron and Zinc Nano Fertilizers on Quantitative Yield of Chicory (*Cichorium inyubus* L.) in Different Crop Densities. Sustainable Agriculture and Production Science 61-74. (in Persian with English abstract).
43. Shabanzadeh, S. H., Ramroudi, M., and Galavi, M. 2012. Influence of Micronutrients Foliar Application on Seed Yield and Quality Traits of Black Cumin in Different Irrigation Regimes. Journal of Crop Production and Processing 1 (2): 79-89. (in Persian).
44. Sharma, D. K., and Sanwal, A. 1992. Influence of nutrition on Brassica genotypes in response to water. Plant Physiology and Biochemistry New Delhi 19 (2): 110-115.
45. Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., Tajbakhsh shishevan, M., and Sharifi, S. R. 2010. Effects of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. Notulae Science Biology 2: 112-113.
46. Silva, D. D., Kane, M. E., and Beeson, R. C. 2012. Changes in root and shoot growth and biomass partition resulting from different irrigation intervals for *Ligustrum japonicum* Thunb. Horticulture Science 47 (11): 1634-1640.
47. Tavakkoli Zeinali, A. 2002. The effect of irrigation cessation at different growth stages on yield and its components

in safflower seed. M.Sc. Thesis, Tehran University, 120 p. (in Persian).
48. Torabian, Sh., and Zahedi, M. 2013. Effects of Foliar Application of Common and Nano-sized of Iron Sulphate on the Growth of Sunflower Cultivars under Salinity. Iranian Journal of Field Crop Science 44 (1): 109-118. (in Persian).
49. Tuncturk, R., and Tuncturk, M. 2006. Effects of different phosphorus levels on the yield and quality components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Research Journal Agriculture Biology Science 2 (6): 336-340.
50. Yang, F., Hong, F., and You, W. 2006. Influences of nanoanatase TiO_2 on the nitrogen metabolism of growing spinach. Biological Trace Element Research 110: 179-90.
51. Zehtab-Salmasi, S., Heidari, F., and Alyari, H. 2008. Effect of microelements and plant density on biomass and essential oil production of peppermint (*Mentha piperment* L.). Plant Science Research 1: 24-28.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 1, Spring. 2018, p. 229-241

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۲۴۱-۲۲۹

Effect of Foliar Application of Chelate Iron in Common and Nanoparticles Forms on Yield and Yield Components of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) under Drought Stress Conditions

A. Nasiri Dehsorkhi[1*]- A. Ghanbari[2]- V. Varnaseri Ghandali[1]

Received: 09-03-2017
Accepted: 17-10-2017

Introduction

Cumin is a member of Apiaceae family and annual plant which is widely cultivated in arid and semi-arid zone. Iran is one of the main producers of this plant. Water deficit is the major limiting factor in crops production. Proper nutrition management under stress conditions could partly help the plant to tolerate different stresses. Various studies were carried out to understand the effect of nanoparticles on the growth of plants. For example, Hong *et al.* (2005) and Yang *et al.* (2006) reported that a proper concentration of nano-TiO_2 was found to improve the growth of spinach by promoting photosynthesis and nitrogen metabolism. Iran a country with arid and semi-arid climate, always face water deficiency. Thus the aim of this research was investigate the effect of foliar application of chelate iron in common and nanoparticles forms on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress conditions.

Materials and Methods

A field experiment was conducted as a split plot in complete randomized block design with three replications in Esfahan city, during the growing season of 2015-2016. Treatments were included three irrigation intervals (5, 10 and 15 days) as main plots and Fe foliar application in four levels (control, 2 g L^{-1} iron chelate, 2 g L^{-1} Nano-iron chelate, 4 g L^{-1} iron chelate, 4 g L^{-1} nano-iron chelate). Foliar application of Fe chelate on leaves was done two times at before and after flowering stage. The plots were 16 m^2 with 4 sowing rows, 4 m long. Seeds were placed at 2 to 4 cm depth in each row. All data collected were subjected of analysis of variance (ANOVA) using MSTATC software. Significant differences between means refer to the probability level of 0.05 by LSD test.

Results and Discussion

The results indicated that drought stress decreased the investigated traits significantly but the effect of irrigation by 15 days interval was more than 10 days. Plots which irrigated by 15 days interval showed minimum height, number of umbels, number of grain per umbel, 1000-grain weight, biological and grain yield. Abd El-Kader *et al,* (2010) reported that decrease in fruit and seed yield of okra occurred by increasing the irrigation interval. Also the results suggested that spraying application of Fe chelate in common and Nano forms increased the yield and yield components on cumin in comparison to control. The maximum and minimum height by 27 and 21.3 cm was observed in 4 g.L^{-1} Nano-iron chelate and control (no spraying) treatments respectively. The mean comparison of interaction effects showed that the minimum 1000-grain weight (1.5 g), grain (610.7 kg ha^{-1}) and biological yield (1767 kg ha^{-1}) was obtained in control × irrigation by 15 days interval. The maximum effects of iron chelate on increasing of traits was found by foliar application of 4 grams per liter Nano iron chelate. Liu *et al,* (2005) reported that Nano-Fe_2O_3 promoted the growth and photosynthesis of peanut. Sheykhbaglou *et al,* (2010) showed that application of Nano-iron oxide particles increased soybean yield. Reduction of particle size results in increased number of particles per unit of weight and specific surface area of a fertilizer that should increase contact of fertilizer with plant leading to increase in nutrient uptake. Nano-particles have high reactivity because of more specific surface area, more density of reactive areas, or increased reactivity of these areas on the particle surfaces. Below 100 nm Nano-particles could make plants use fertilizer more efficiently, reduced pollution and more environmentally friendly, dissolve in water more effectively thus increase their activities.

1- PhD Student of Agroecology, Faculty of Agriculture, University of Zabol
2- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol
(*- Corresponding Author Email: abasnasiri110@yahoo.com)

Conclusions

Overall, the results showed that water deficit decreased the yield and yield components of cumin but foliar application of Fe chelate in Nano and common forms increased investigated traits. The results indicated that no significant difference was observed in most of the traits between the foliar application of 2 $g.L^{-1}$ Nano iron chelate and 4 $g.L^{-1}$ iron chelate. Based on our results can be concluded that foliar application Fe chelate specially Nano-form can reduced stress effects on plant and finally caused increase yield and yield components.

Keywords: Biologic yield, Irrigation period, Medicinal plant, Nano-particles